



**TAL  
TECH**

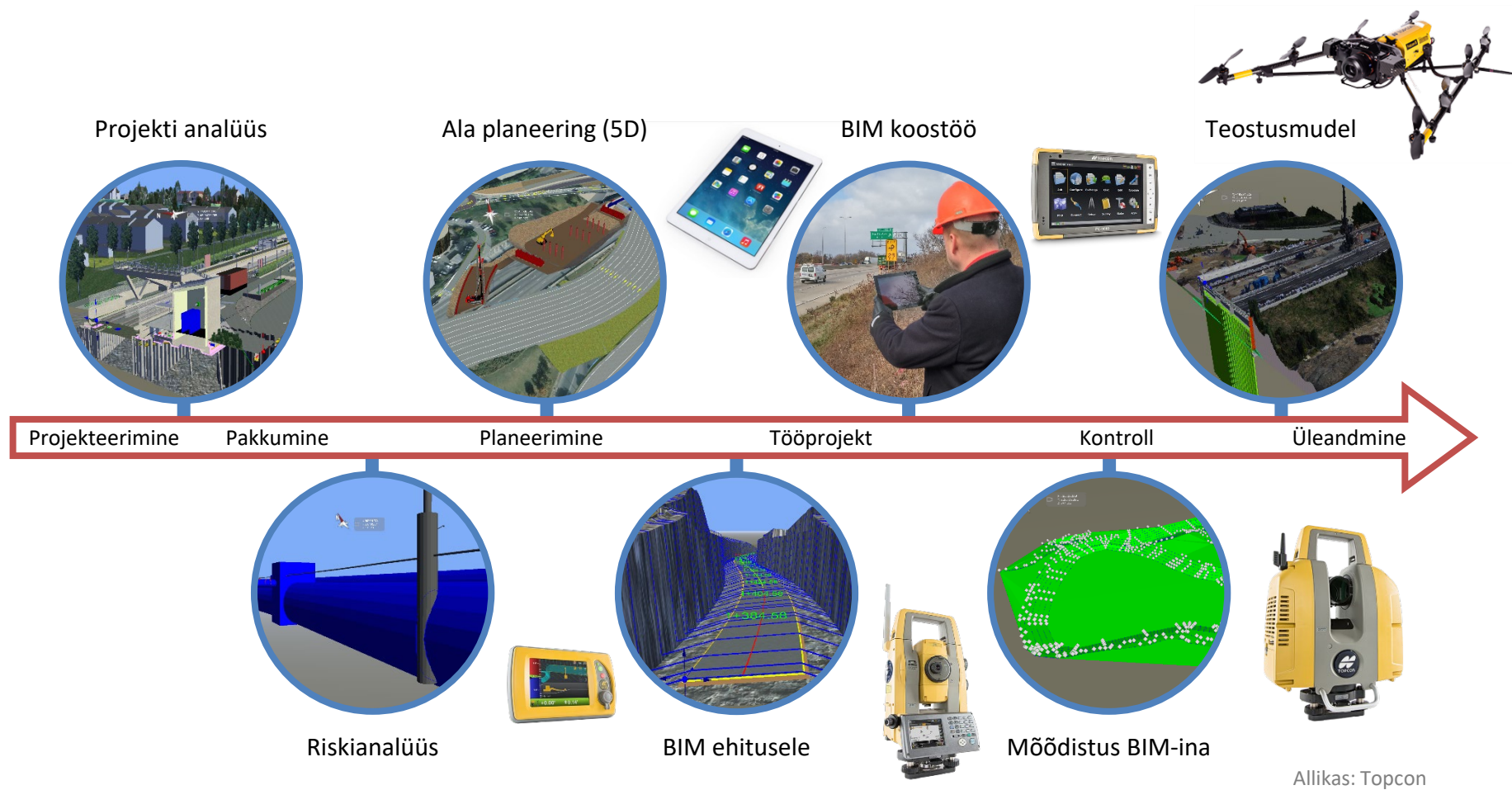
# **SISSEJUHATUS: VIRTUAALNE MUDEL**

**Raido Puust**, *MSc, PhD*  
professor  
*[raido.puust@taltech.ee](mailto:raido.puust@taltech.ee)*

# ÜLEVAADE

- Virtuaalne mudel ja ehitamine
- Koondmudeli eelised
- Visuaalne kontroll
- Vastuolude kontroll (kokkulangevused)
- 4D/5D analüüs
- Teostusmudel vs projektmudel
- Ehitusmahtude väljavõtted

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE



# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – KOONDMUDELI EELISED

- Koondmudel kaasab endas nii olemasolevat kui projekteeritud informatsiooni
- Olemasolevat 3D infot saab tihtipeale eksportida GIS rakendusest või projekteerimise tarkvarast (sh Autodesk, Bentley, Esri, Trimble, Topcon jpt)
- Sõltuvalt koondmudeli poolt kirjeldavast projekteerimise staadiumist on see sama täpne kui ka lõplik ehitusobjekt. Seetõttu on tööprojekti informatsiooni võimalik eksportida masinjuhtimisse (ingl *machine control*, *total stations* jt)
- Omades olemasolevat olukorda BIM mudelis, saab kasutaja analüüsida, kas tegemist on piisavalt täpse andmestikuga, kas olemasoleva olukorra andmestik on saadaval või kaardistada riskijuhtumeid olukorras, kus sisendandmed on ebatäpsed
- Olemasolev olukord kaasab ka geoloogiat (pinnasekihte), et võtta arvesse võimalikke riske töömahtude suurenemisega ja/või tööde kallinemisega, mida annaks vältida kui projekteerimises arvestada juba keerukamaid olukordi (nt vältida kivimikihi sisse raiumist jmt)

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – KOONDMUDELI EELISED

- Kivimikihtide (pinnasekihtide) modelleerimiseks saab ehitusobjektile teostada puuraugud
- Samas oleme teadlikud, et täpne pinnasekihi kõrgus/sügavus on teada vaid puuritud asukohtades, kõik mis jääb puuraukude vahele on enam-vähem eeldamine
- Seega, sõltuvalt meetodist, kuidas arvutatakse välja pinnaobjekt puuraukude vahel (millist triangulatsiooni meetodit kasutatakse) võib tegelik kivimikihi (või muu materjali) mahuerinevus olla väga suur
- Mahtude erinevus on suur riski ehitajale, mistõttu tuleb see hoolikalt dokumenteerida ning arvesse võtta riskianalüüsi ning eelarvestamise teostamise käigus
- Koondmudeli loomine aitab võrrelda erinevatest allikatest saadud informatsiooni (sild/viadukt, sõidutee konstruktsiooni kihid) ning analüüsida nende kokkulangevusi (nt silla tasapind vs sõidutee katend)



# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – KOONDMUDELI EELISED

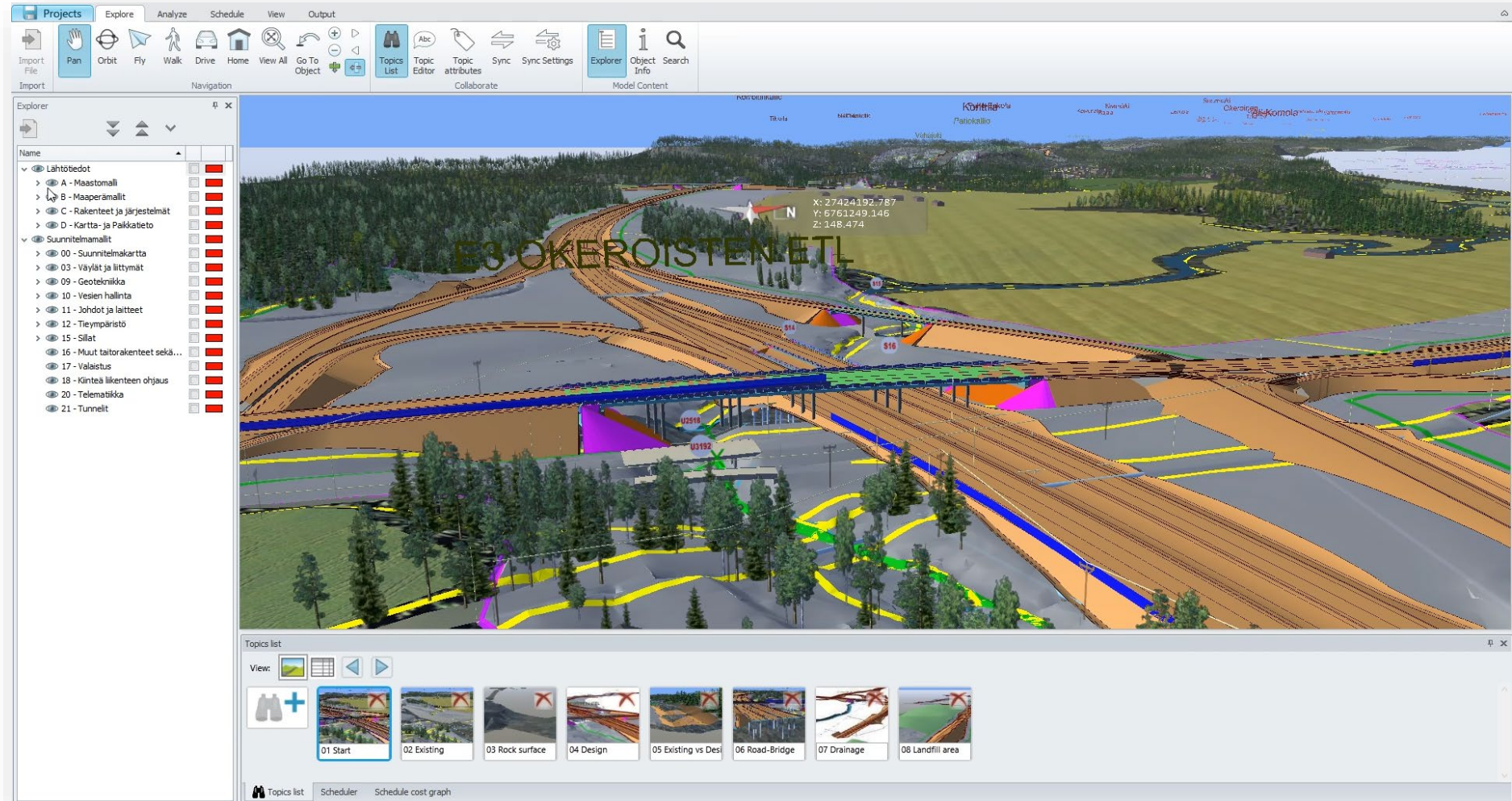
- Koondmudelis saab luua kaeve- ja täitemahtude analüüse sektsioonide kaupa (ka vabalt valitud lõigus, mitte ilmtingimata sõidutee ristlõigete vahemikes)
- Lõikeid saab teha mistahes asukohas, et kontrollida disaini paikapidavust (lõike tegemine võib baseeruda näiteks telgjoonel, murdjoonel, sõidutee servajoonel, materjali äärejoonel, piirdel, torul ja mis tahes muul joonelemendil)
- Koondmudelis saab kontrollida ristmike paikapidavust (ühendused sõiduteedega), nende kaldeid ja kallete muutumisi (risti- ja pikikalded, viraažid), kallete muutumisi kaevetingimusest -> täitetingimuseks ja vastupidi

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – KOONDMUDELI EELISED



# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – KOONDMUDELI NÄIDE

Video:  
Projektandmestiku analüüs  
ühes koostöömudel



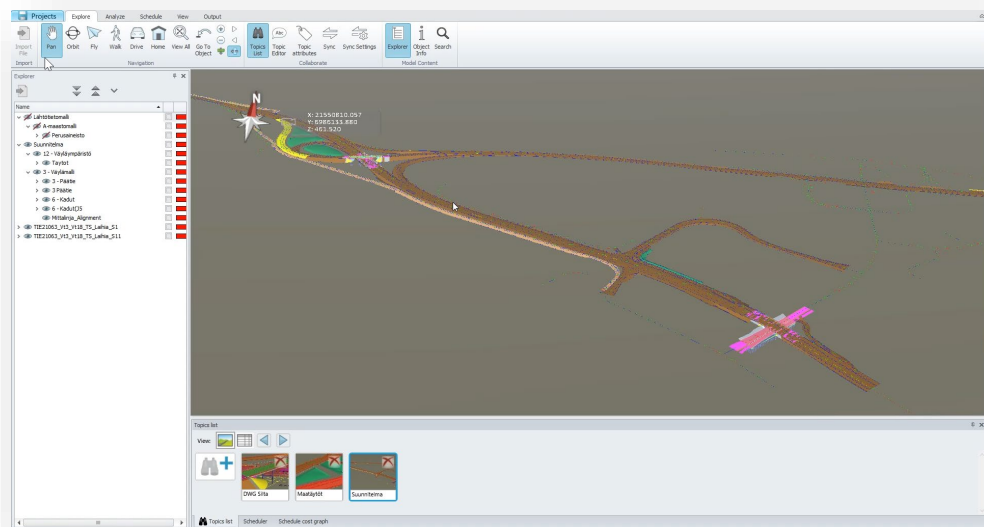


# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – VISUAALNE KONTROLL

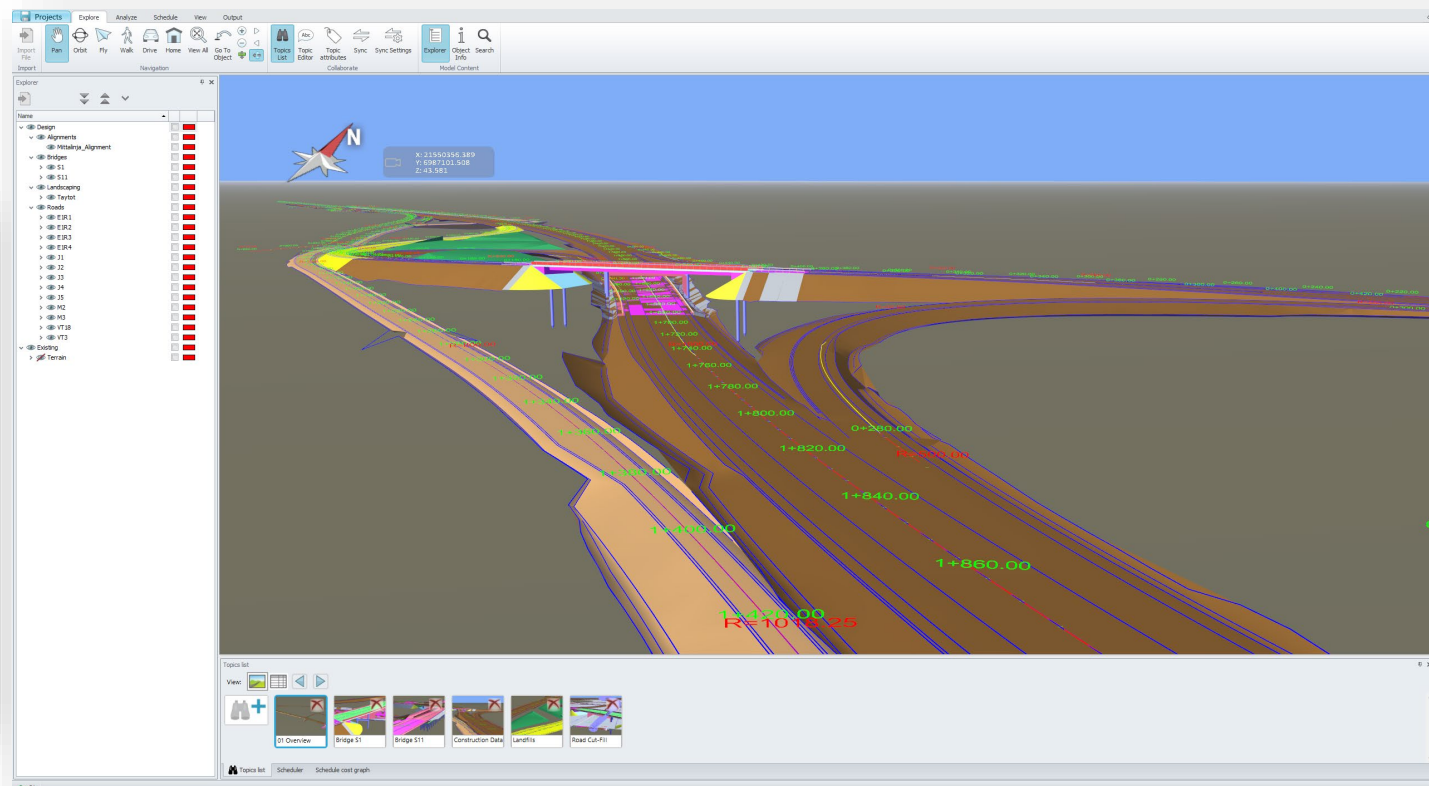
- Andmeallikad: LandXML, IFC
  - Pinnaobjektid, murdejooned, telgjoonte/lõigete numbrid
  - Sama infot kasutatakse masinjuhtimises
  - Konstruksioonid: sild/viadukt, müratõkkeseinad jne
- Masinjuhtimise faile on vaja eelnevalt kontrollida (enne ehitamist)
  - Kontrolli andmestikku (visuaalselt) enne kui edastad selle masinjuhtimisele. Masinad teevad nii nagu fail ette kirjutab (seega ka vigadega)
  - Visuaalne kontroll võimaldab väga lihtsalt märgata puuduolevaid pinnaobjekte, ebamääraseid väljaulatuvaid osasid, liiga kiirelt muutuvaid pinnaobjekte, teravaid servasid, halvasti liidetud pinnaobjekte (nt ristmiku juures), üksteisega kattuvaid pinnaobjekte jne
- Mudeli kasutamine igapäevaselt
  - Selgita platsitöölisele, mida tuleb ehitada ning mis järjekorras
  - Esita turvatsoonid, tolerantsid, töötsoonid, ruumivajadused, võimalik ehitusplatsi ala jne

## VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – VISUAALNE KONTROLL

Video:  
Visuaalne tööprojekti kontroll enne ehitamist



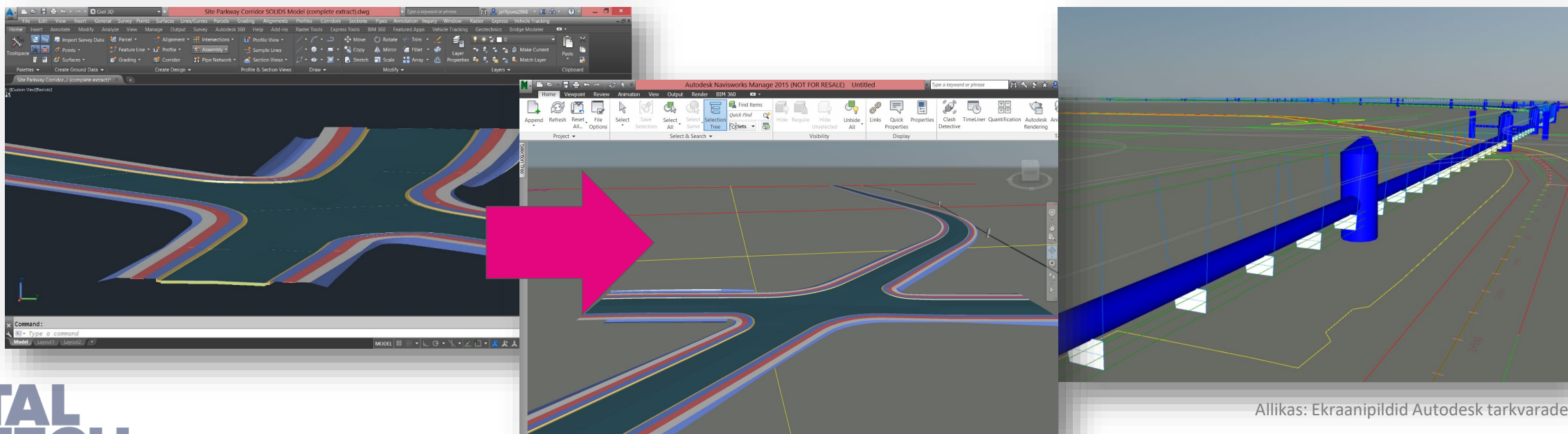
Video: Topcon Technology Finland



Allikas: Ekraanipilt Topcon tarkvaradest

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – VISUAALNE KONTROLL

- Autodesk Navisworks tarkvara tüüpiline tööprotsess:
  - Olemasoleva ning disainitud *TIN* pinnaobjekti lisamine
  - Torustike ning teiste maa-aluste konstruktsioonide kaasamine
  - Koridormodeli materjalide (konstruktsiooni kihtide) lisamine



Allikas: Ekraanipildid Autodesk tarkvaradest

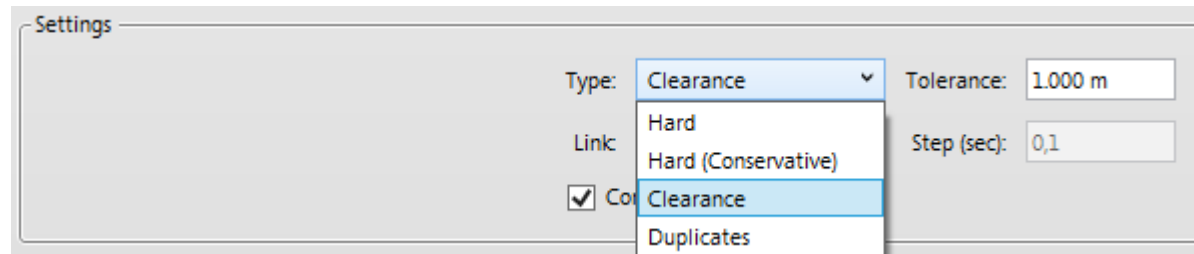
# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE KONTROLL

- Infrastruktuuri projekti iseloomustavad ennekõike nn pikad joonobjektid
  - Tüüpiliselt mitmed kokkulangevused samade objekti-paaride vahel
  - Täpne asukoht oluline
- Pinnaobjektid ning *TIN* mudelid
  - Kokkulangevusi peab kontrollima kolmnurkmudeli baasil
- Ebatäpsused ning tolerantsid
  - Ebatäpsed sisendandmed, eeldused (nt jaotusvõrgud, tehnovõrgud)
  - Ehitamise tolerantsid

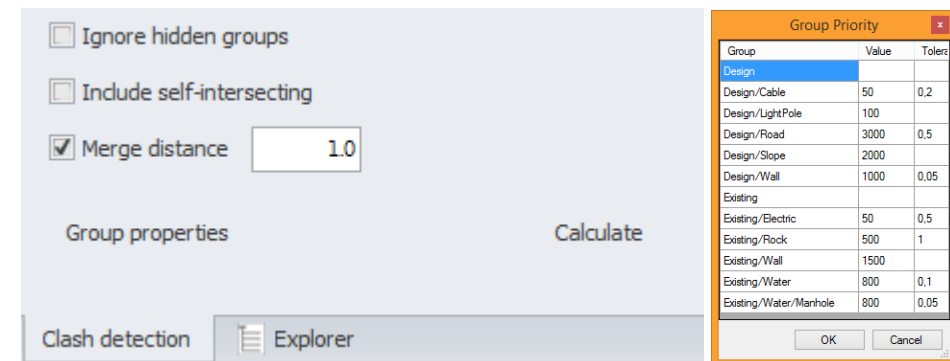


# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE KONTROLL

- Enamjaolt räägime järgmistest kokkulangevustest
  - Füüsikaline kokkulangemine (*hard clash*)
  - Ebapiisav vahekaugus (*soft clash*)
  - Ajagraafikuga seotud kokkulangevus (*4D clash*)



Autodesk Navisworks



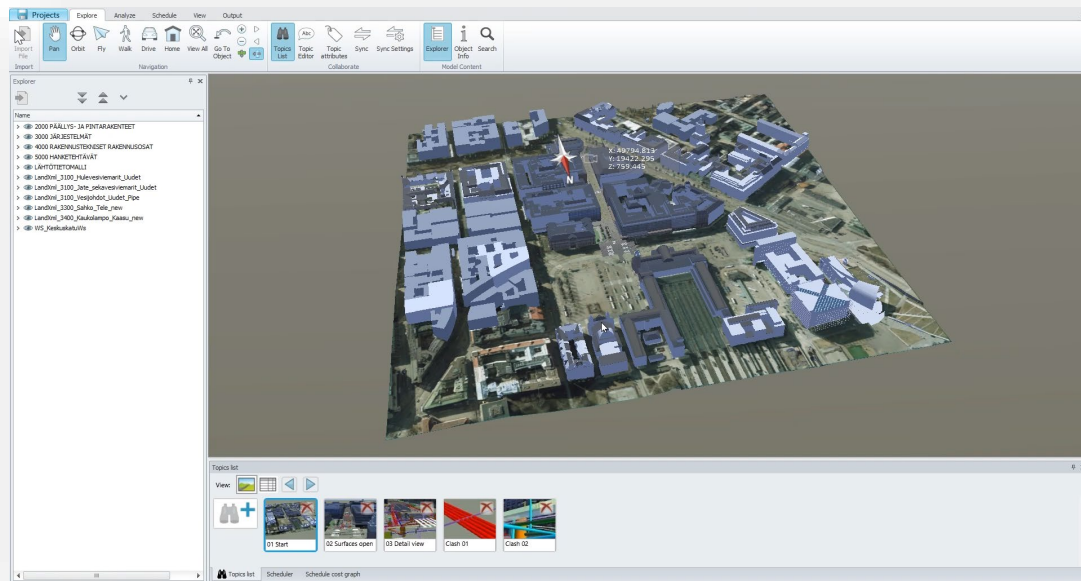
MAGNET Explorer

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE KONTROLL

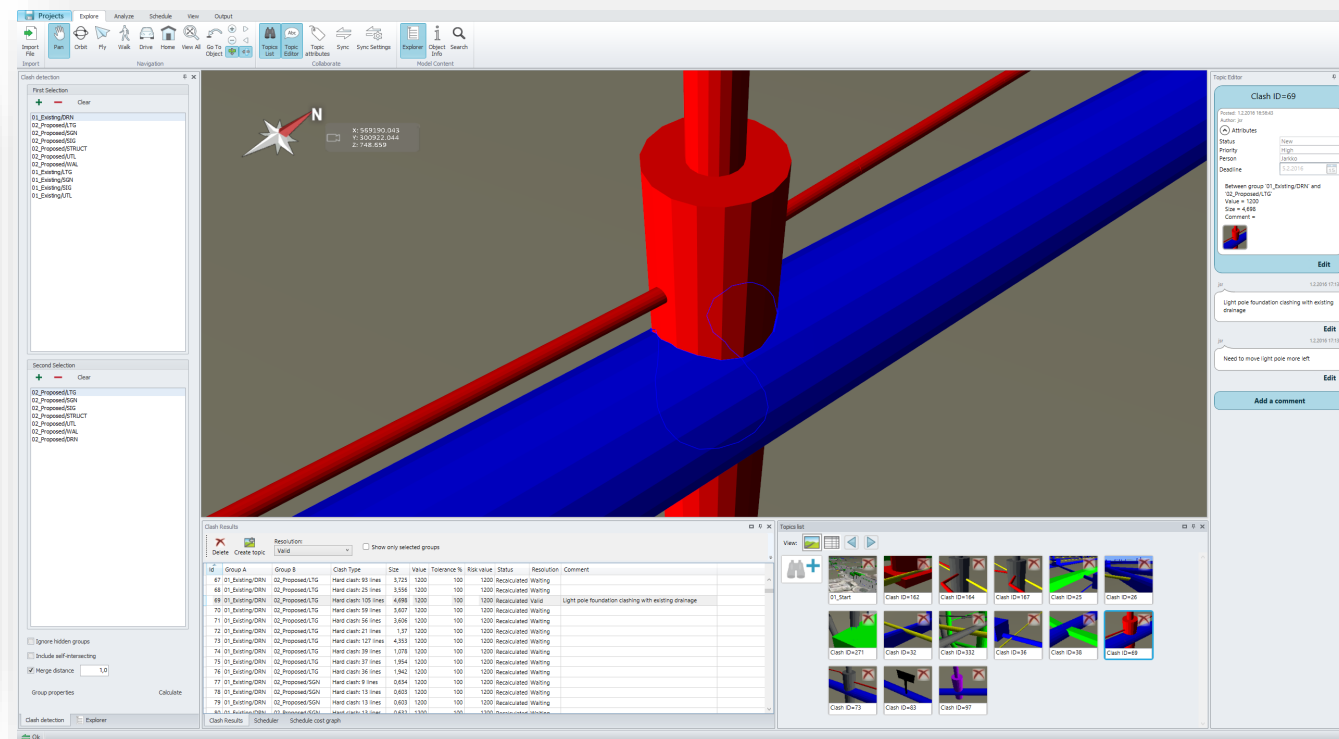
Traditsiooniline	Väärtusel põhinev (nt MAGNET Explorer)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vajalik defineerida reeglid kõikide osamudelite vahel<ul style="list-style-type: none"><li>• 10 osamudelit tähendab 100 reegli defineerimist ning haldamist</li><li>• Unustades ühe reegli defineerimise, sinu kokkulangevusanalüüs pole täielik</li></ul></li><li>• Vajalik kontrollida kõiki kokkulangevusi ühekaupa<ul style="list-style-type: none"><li>• Väga ajakulukas ning pole väärtust loov</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kokkulangevusanalüüsi parameetrid kui mudeli parameetrid<ul style="list-style-type: none"><li>• Väärtus (olulisus), tolerantsid</li><li>• Lihtne ülesseadistus</li></ul></li><li>• Kokkulangevusanalüüside sorteerimine ning filtreerimine põhineb olulisusel ning riski faktoril<ul style="list-style-type: none"><li>• Loo väärtus kohe alguses</li><li>• Lahenda kõige väärtuslikumad kokkulangevused eelisjärjekorras</li></ul></li></ul>

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE KONTROLL

Video:  
Riskianalüüs, vastuolude kontroll



Video: Topcon Technology Finland



Allikas: Ekraanipilt Topcon tarkvaradest

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE KONTROLL

- Ühes koondmudelis on selle kontrolli alghetkel väga palju vastuolusid, mida ei suuda keegi ükshaaval läbi vaadata
- Seetõttu on oluline võimalikke vastuolusid klassifitseerida, ehk siis keskenduda kõige kriitilisematele vastuoludele
- Lihtne arvutus näitab, et kui ühe vastuolu kontrollimiseks kulub 1 minut, siis klassikaline vastuolude kontroll võtaks tüüpilise projekti puhul aega ca 49 tundi (see on ÜKS TÖÖNÄDAL, et lihtsalt kontrollida vastuolusid – selle aja jooksul võib disain olla juba muutunud ja/või probleemi hilja lahendada)
- Vastuolude klassifitseerimisel (nn väärtuspõhine kontroll) keskendub kõige kriitilisematele vastuoludele, mis võivad eksisteerida teatud tüüpi elementide vahel, mida on kõige kulukam ehitusplatsil lahendada
- Järjestades vastuolud nende kulukuse järgi, saab väita (varasemate projektide näitel), et ca 100 esimest vastuolu lahendavad 80% vastuoludest tingitud lisakulust (ajakulu ca 2h)

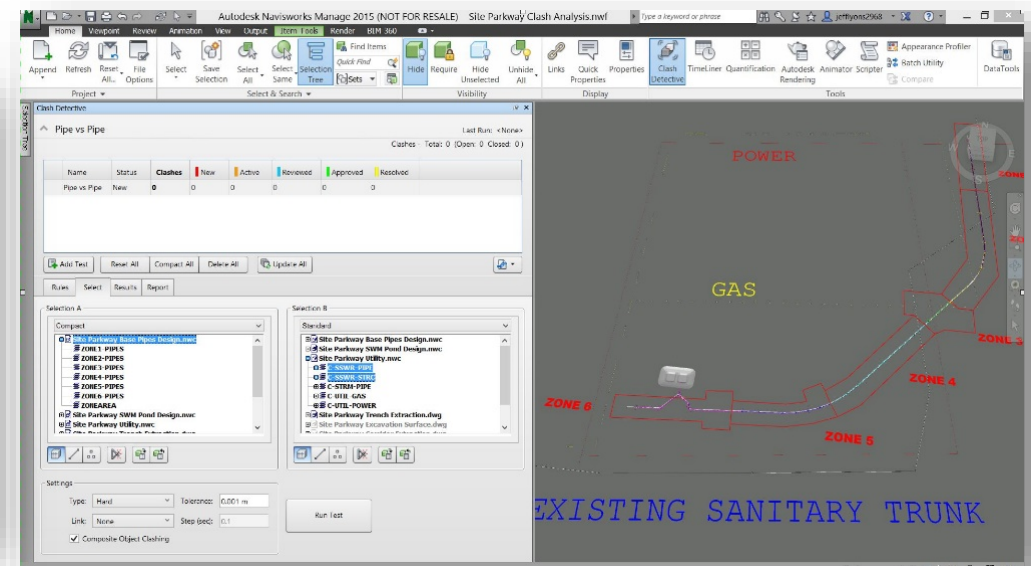
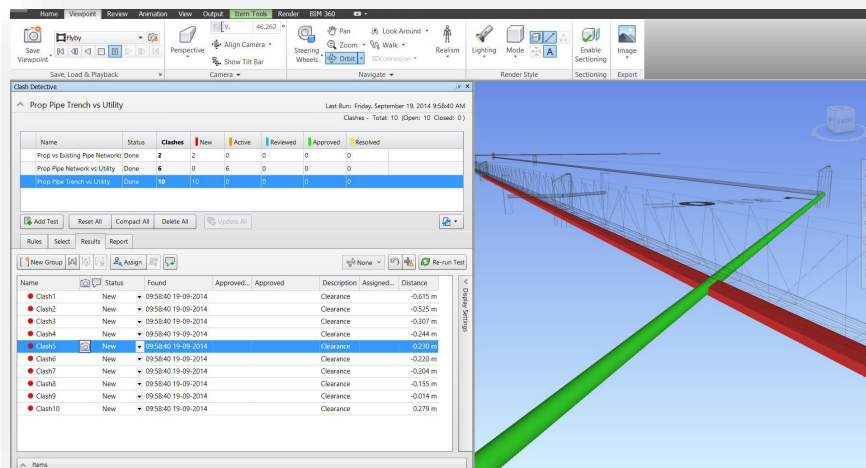


# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE KONTROLL

- Teedeehituses on vastuolude leidmisel üks suur erinevus võrreldes hoonetes olevate vastuoludega:
  - Kuna teedeehituses on nn pikad lineaarsed objektid (sõidutee koridor, kaablid, torustikud jne), siis võivad need lõikuda mõne muu objektiga väga erinevates kohtades – üks pikk objekt mitmes kohas mõne muu objektiga
  - Seega on oluline, et kõik need vastuolud esitatakse fookusega
- Vastuolusid saab kontrollida ka pinnaobjektide vahel (kas pinnad kattuvad üksteisega – ei tohiks, kuna tekivad mitu erinevat murdjoont – mille järgi siis masinjuhtimist teostada nende lõikepunktides?)
- Vastuolude kontrollil saab arvesse võtta nii nende kriitilisust, ebatäpsust, tolerantsi, mahtu – luua sellekohaseid raporteid
- Vastuolude kontrolli läbiviivaid tarkvarasid on üksjagu, kuid enamus neist on kindla fookusega (hooned vs infra), seda kasvõi andmeformaate toetamise mõttes ja/või analüüsi võimekuse tähenduses

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - VASTUOLUDE NÄITED

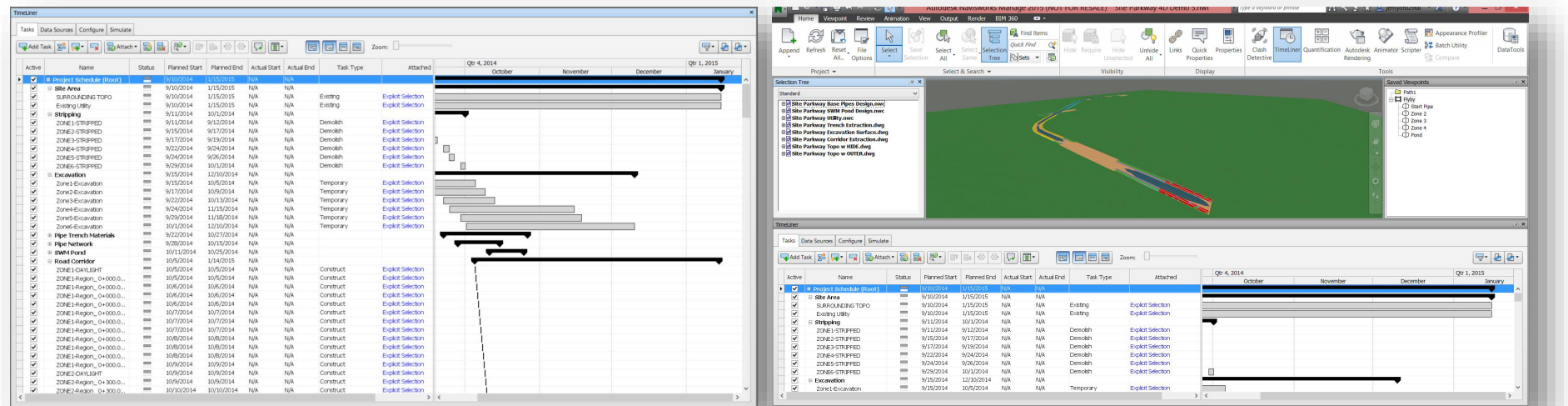
- Uue, projekteeritava sademeveetorustiku kokkulangevusanalüüs olemasoleva kanalisatsiooni torustikuga
- Uue, projekteeritava sademeveetorustiku kokkulangevusanalüüs olemasoleva jaotusvõrgustikuga
- Planeeritud rajatava torustiku kaevik vs jaotusvõrgu elemendid
- Raportid



Allikas: Ekraanipilt Autodesk Navisworks tarkvarast

# VIRTUAALNE MODEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS

- 4D mudel on visuaalne link *Gantt*'i diagrammi ning 3D mudeli elementide vahel, näidates ehitustegevuste kulgemist ajas läbi 3D mudeli elementide kuvamise/peitmise.
- Seeläbi saame tagasisidet, millised mudeli osad on mõjutatud ajagraafikust, lisaks saad kontrollida paralleeltegevuste olemasolu (logistika, kokkulangevused)



Allikas: Ekraanipilt Autodesk Navisworks tarkvarast

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS

- Ehituse 4D / 5D simulatsioon
  - Mudeli linkimine ehitustegevustega (aeg, maksumus jpt)
  - Väldi 4D vastuolusid läbi analüüside (näiteks: elementide eemaldamine enne uue ehitustegevuse algust)
  - Veendu, et ehitusplats oleks organiseeritud enne ehitustegevuste algust
  - Modelleeri/kaasa ajutised ehitusplatsi elemendid, et simuleerida ehitusplatsi ruumivajadust ehituse kestel
  - Ruumi vajaduse näited: ladustamine, logistika, masinate töötsoonid, masinate paigutus
  - Simuleeri ehitusaja kulgu
  - Simuleeri turvariske



# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS

- Projektijuhina või koordinaatorina on läbi *4D* simulatsiooni sul rohkem infot, kuidas ehituslikult mingit disaini planeerida, ennekoike just selle keerukamaid sõlmi *3D* ruumis ajas mõõdetuna:
  - Võimalik edastada projekti tervikliku eesmärgi
  - Efektivsem projekti elluviimise strateegia
  - Parem kommunikatsioon ning koostöö
  - Võimalus kontrollida kokkulangevusi ajas

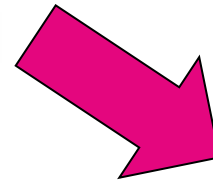
# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS

Milleks mulle 4D simulatsioon?

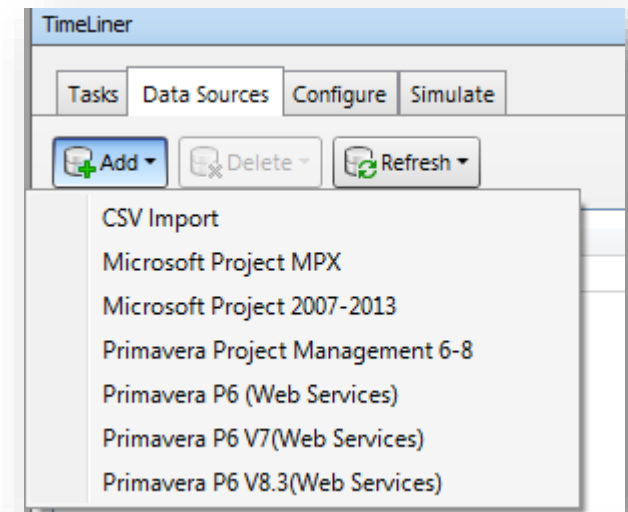
- Informatsiooni päringud (*request for information = RFI*)
  - Iga päring võib vajada tööjooniste läbivaatust, tutvumist ehitusplatsi tingimustega/seisuga
  - See on ajakulu ja seega ka reaalne kulu dokumentatsiooni ettevalmistamiseks, et küsimusele vastata + vastuse ootamisest tingitud tööde seisak = 100, 200, ... €
  - Juhul kui päring eeldab ka projekti muudatust või tööde järjekorra muutmist, siis räägime üldjuhul ka suurematest kulutustest
  - Kui nüüd korrutada keskmise päringu hind päringute arvuga (keskmises projektis), siis saame raiskamist iseloomustava (või vastupidiselt säästmist võimaldava) numbri

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS

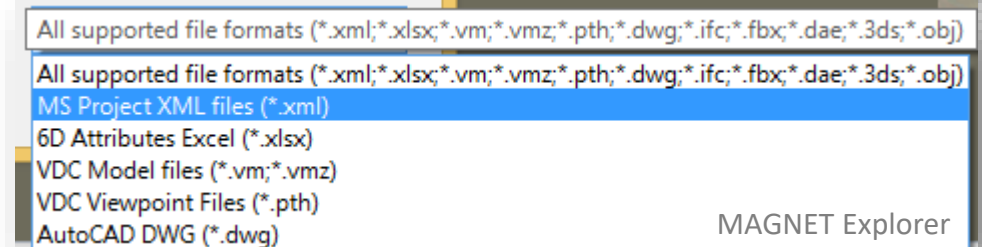
Aluseks aja(töö-)graafikud



Autodesk Navisworks



MAGNET Explorer



MAGNET Explorer

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS

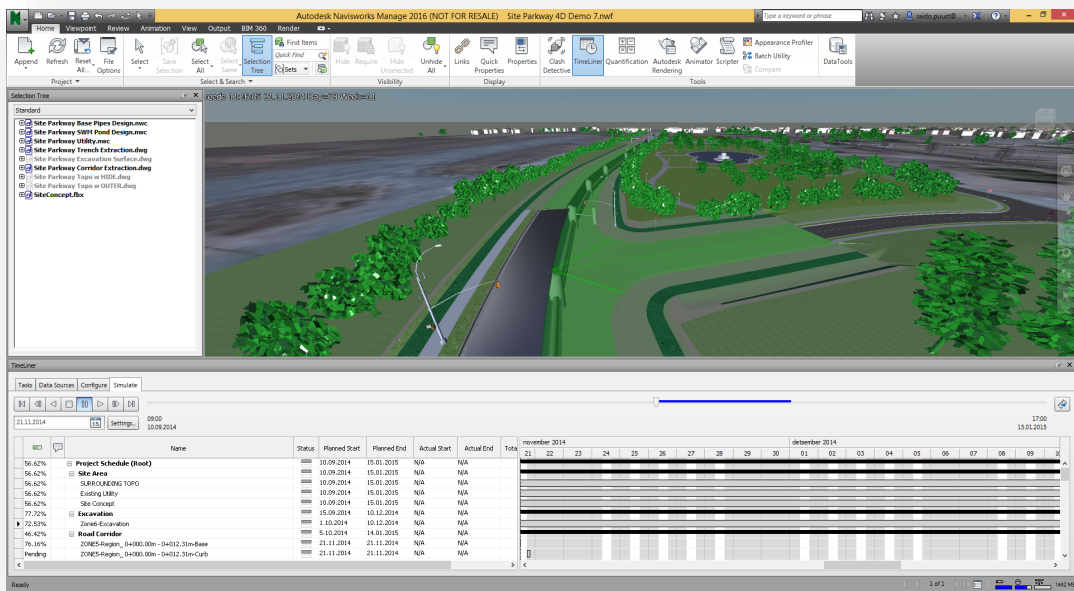
Milleks mulle 4D simulatsioon?

- *4D* mudel pakub visuaalset tervikut ehituse virtuaalsest valmimisest, mida on lihtne mõista kõikidel osapooltel
- Arhitektidele/inseneridele võimaldab näha koondmudelit protsessina
- Üks ja sama mudel aitab liita omaniku/projekteerija ning ehitaja huve – vähem vigasid, vähem probleeme planeerimisest tingitud seisakutest
- Ehitajale pakub *4D* mudel paremat arusaamist olemasolevatest *2D* joonistest – ehituskomponendid jaotatuna *3D* ruumi, lisaks ehitusplatsi logistikaga seotud küsimused nagu materjalide ladustamise asukoht, ehitusseadmete paigutus (kraana) ning ligipääsud ehitusplatsile



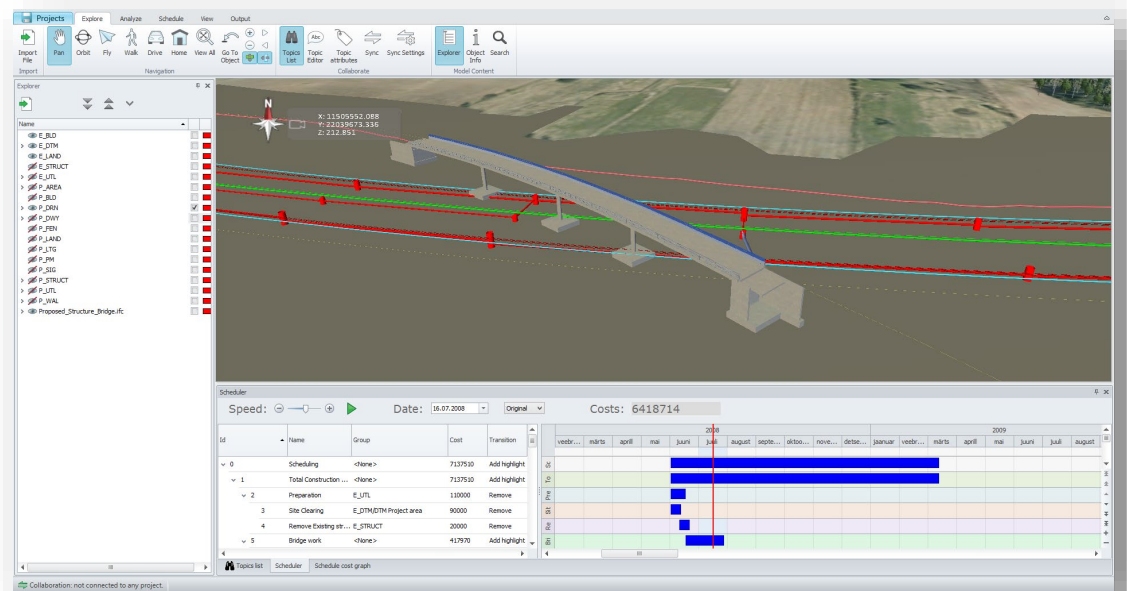
# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS (NÄITED)

Laadi näidismudel ning vaata lõpp-tulemust  
(vajalik Navisworks Freedom või Navisworks litsentseeritud tarkvara olemasolu)



Allikas: Ekraanipilt Autodesk Navisworks modelist

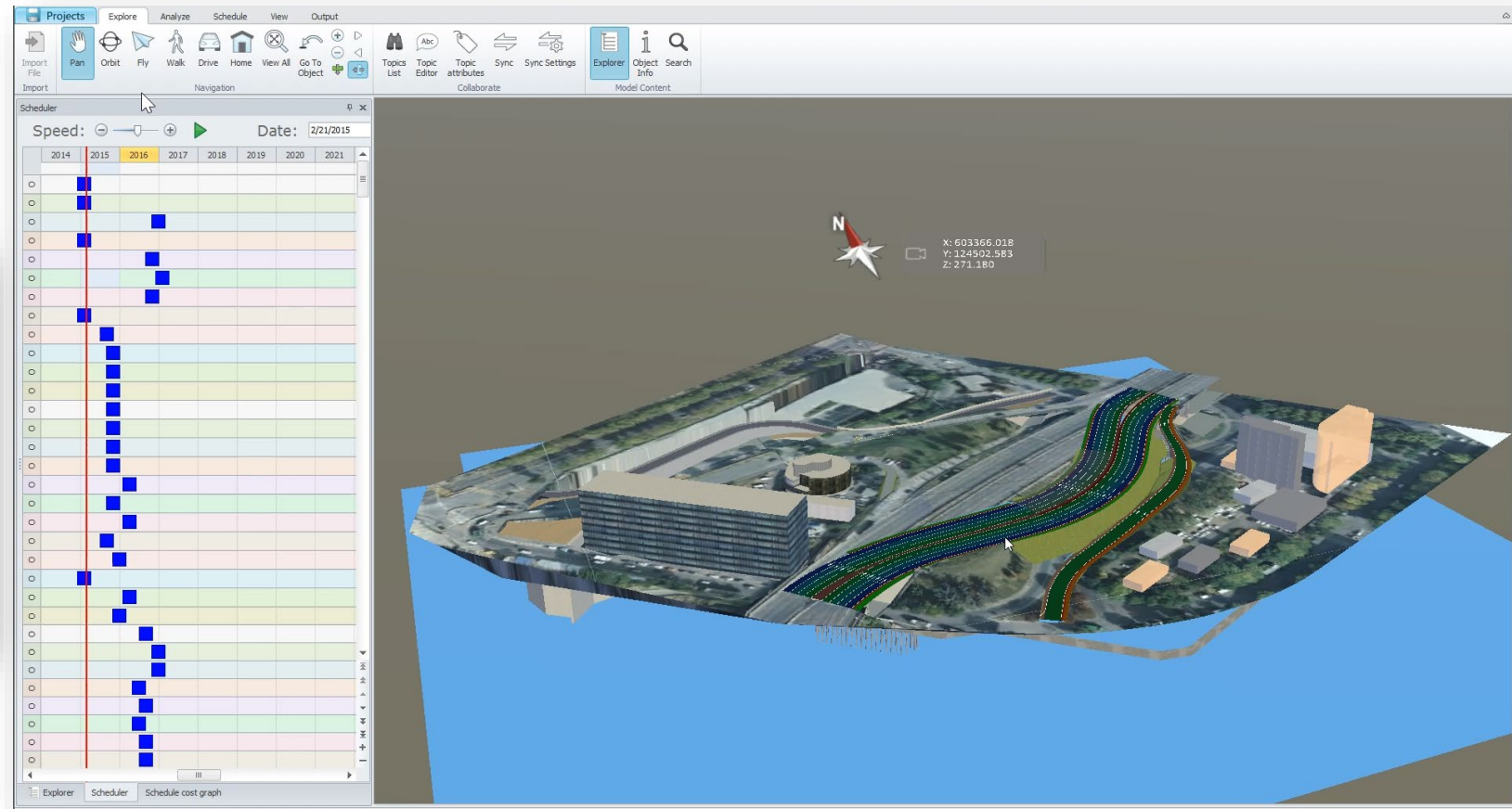
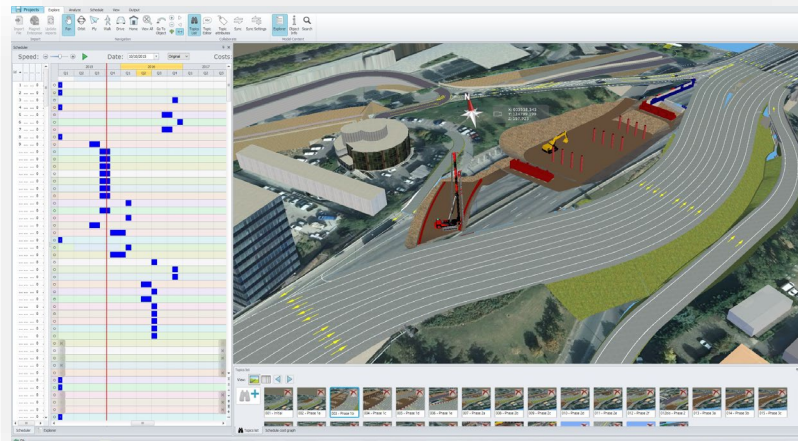
Laadi näidismudel ning vaata lõpp-tulemust  
(vaatartarkvara sisaldub allalaaditavas pakettis)



Allikas: Ekraanipilt MAGNET Explorer modelist

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS (NÄITED)

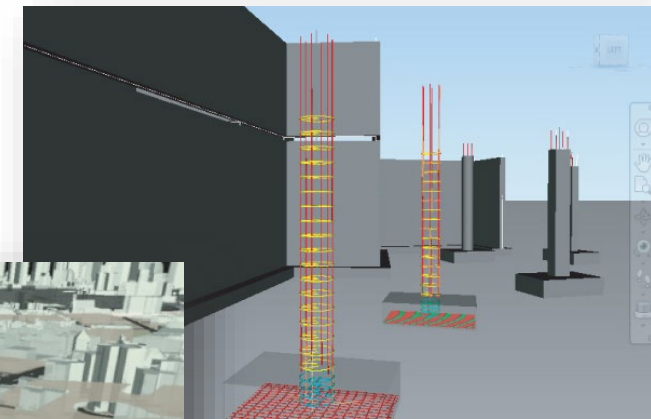
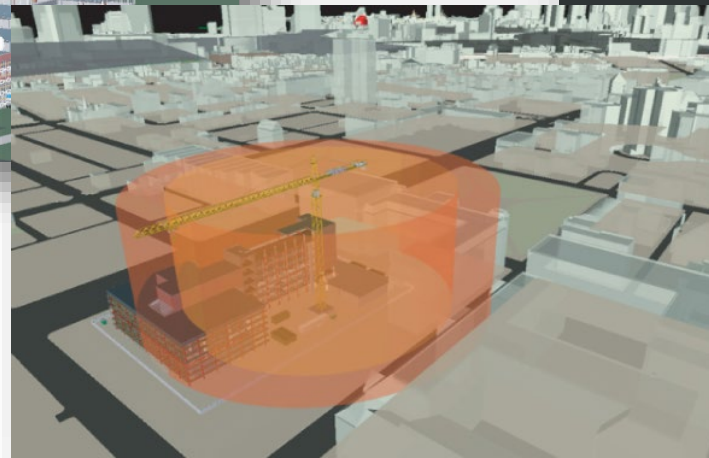
Video:  
Ehitusetappide  
simuleerimine (4D/5D)



# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS (NÄITED)

## Konteksti esitamine mudeliga

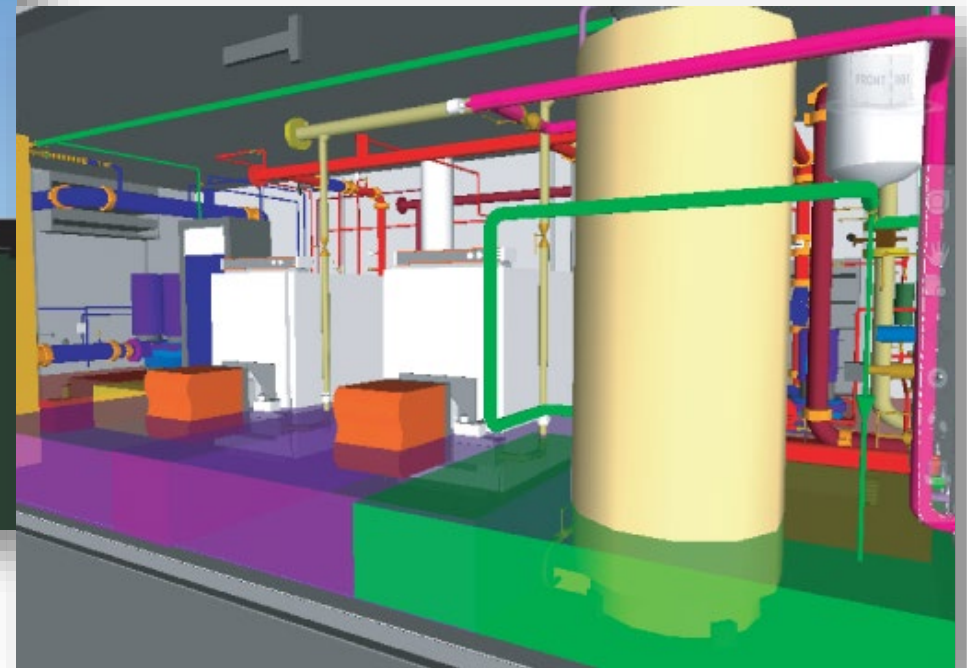
- Projektiga seotud turvalisuse küsimused, ligipääs ehitusplatsile, muudatused liiklusskeemis, kraana tööpiirkond, ehituse valmimine etapiti (värvikoodiga, mis on valmis) jt



Allikas: Autodesk Navisworks  
modelite ekraanipildid

# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE – 4D/5D ANALÜÜS (NÄITED)

Ehitusseadmete paigutuse esitamine, töötsoonide esitamine



Allikas: Autodesk Navisworks mudelite ekraanipildid



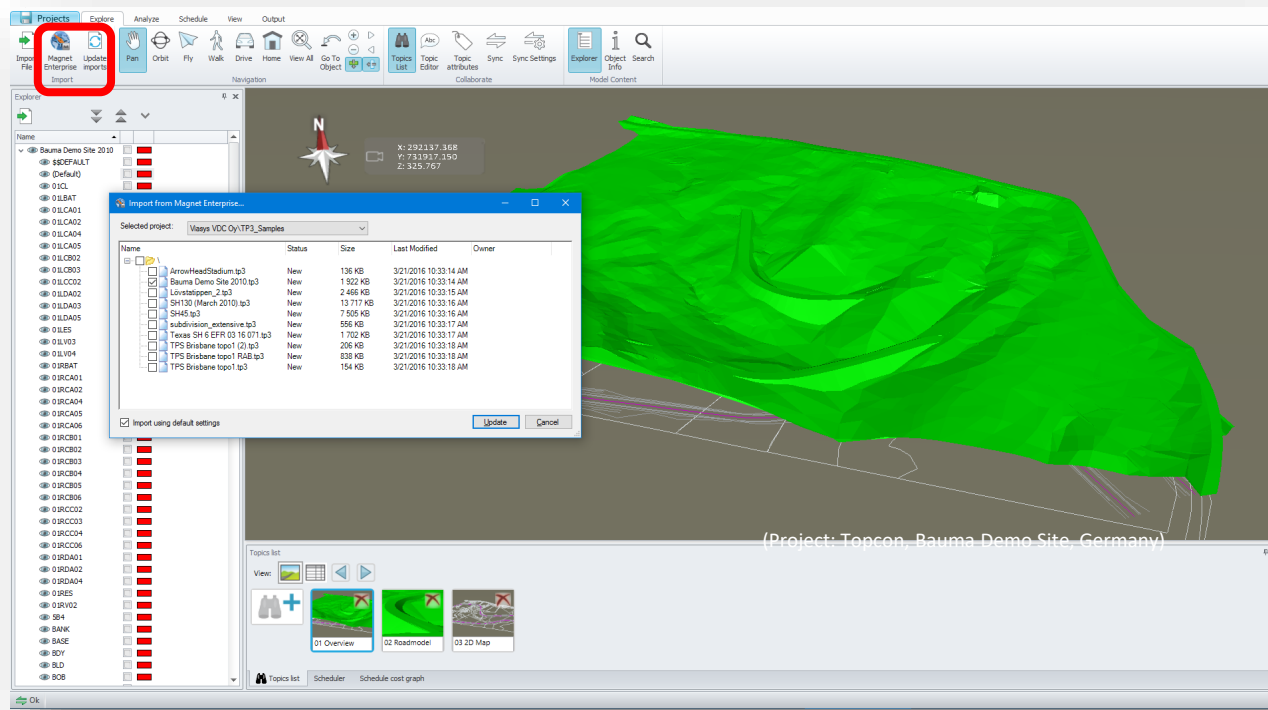
# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - TEOSTUSMUDEL

- Teostusinfo kogumine mudelisse ning selle võrdlemine projektinfoga, et tagada kvaliteedinõudeid
- Tüüpiliselt imporditakse teostusinfona nii mõõdistuspunkte, jooni, pindasid (LandXML formaadis)
- Sõltuvalt kasutatavatest seadmetest / tarkvarast, saab mõõdistusinfo masinatelt kätte pilveteenuse vahendusel (nt MAGNET Enterprise)
- Üha enam kasutatakse droonimõõdistusi, et teostada ehitusplatsi visuaalset kontrolli või luua pinnaobjektide võrdlus ning nende erinevused (projekt vs teostus/hetkeseis) esitada värvikoodiga
- Teostusinfo ja projektinfo võrdlust ühest mudelist hõlbustavad erinevad töövahendid (sh mõõdistusvahendid, lõiketasapinnad jne)



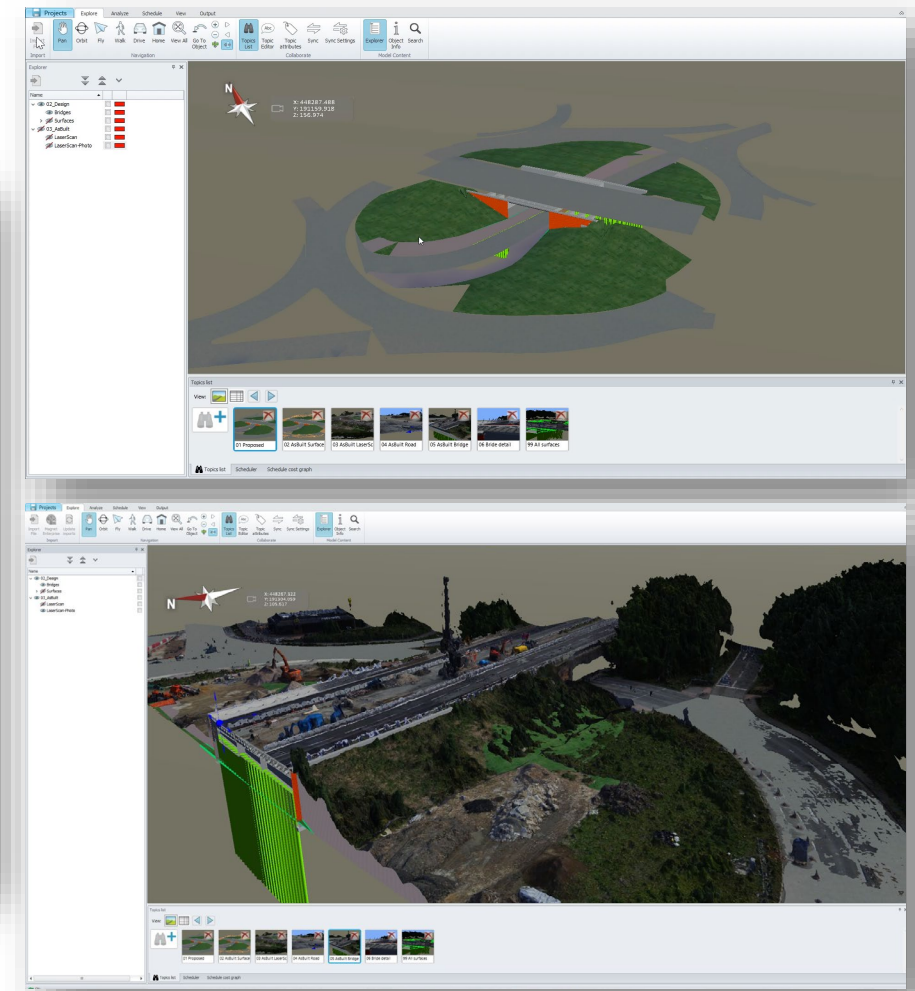
# VIRTUAALNE MUDEL JA EHITAMINE - TEOSTUSMUDEL

Video: Teostusmodel vs töömudel



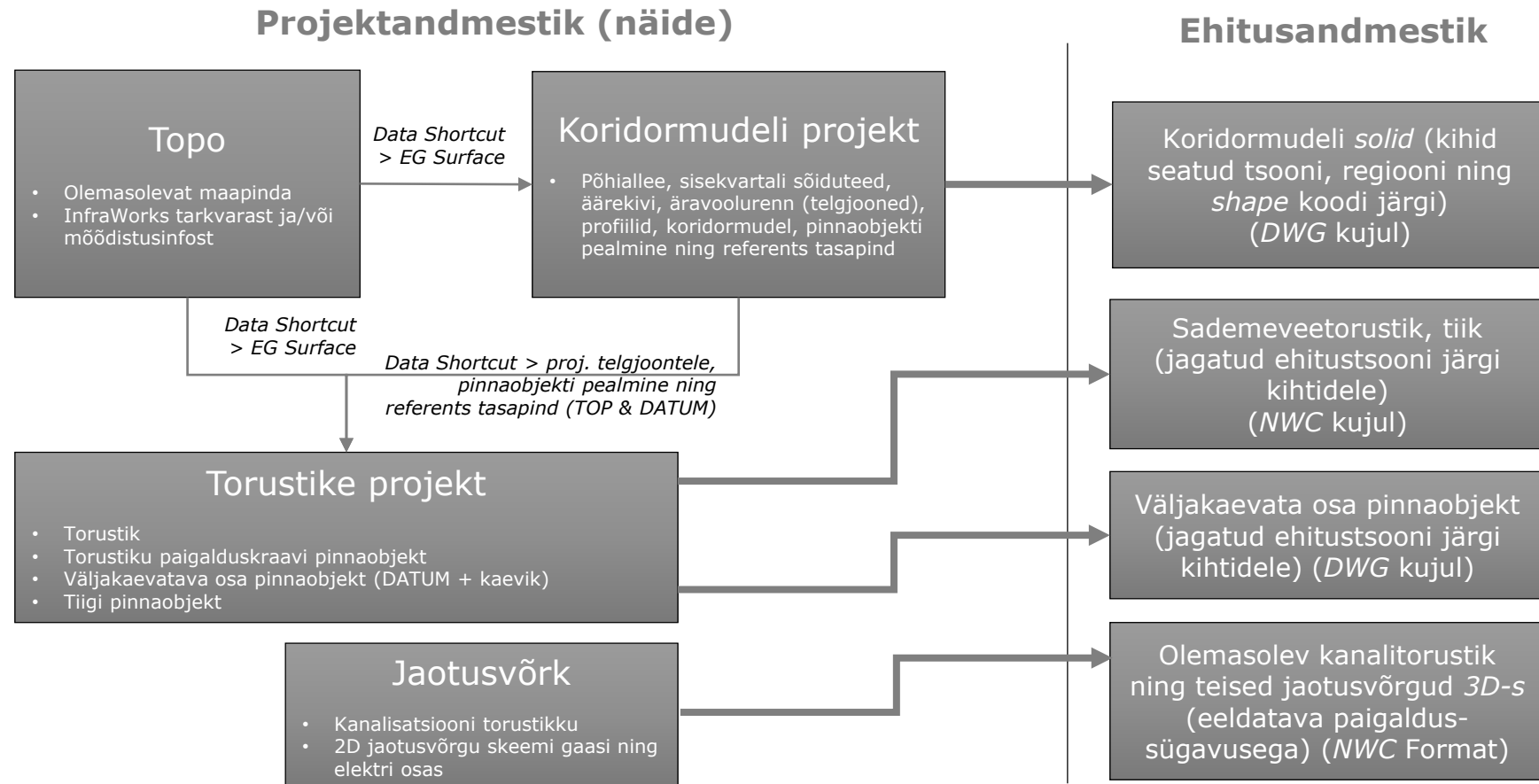
(Project: Topcon, Bauma Demo Site, Germany)

Allikas: Ekraanipilt Topcon tarkvaradest



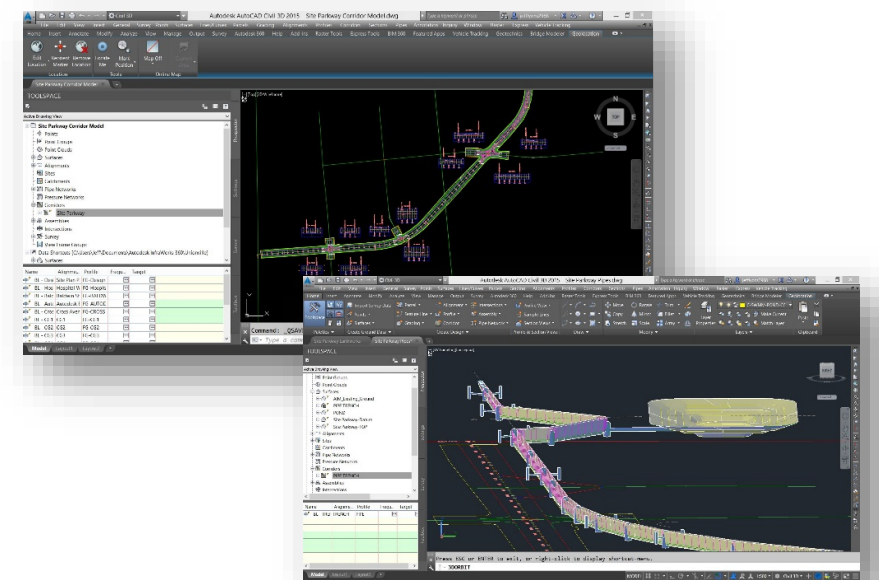
Video: Topcon Technology Finland

# ÜLEVAADE EHITUSANDMESTIKUST



# ÜLEVAADE EHTUSANDMESTIKUST

- Sõidutee koridormudeli saab konverteerida *AutoCAD solid* objektiks ning regiooni (ehitusetapi) ja materjali koodi baasil jagada kihtidele
- Torustiku ning olemasoleva jaotusvõrgustiku saab eksportida otse NWC formaati
- Olemasoleva ning planeeritud maapinna saab seadistada stiiliga ning seejärel eksportida NWC formaati



Allikas: Ekraanipilt Autodesk tarkvaradest

# EHITUSMAHTUDE VÄLJAVÕTTED – KES TEOSTAB?

Juhtiv eelarvestaja	Eelarvestaja
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kontrollib ning allkirjastab projekti mahud</li><li>• Määrab eelarve</li><li>• Planeerib ning rakendab ettevõtte põhised standardid eelarvestamise praktikale</li><li>• Hangib allhankijate/tarnijate info ning hinnastuse</li><li>• Haldab ning edastab ehituse ning materjalide maksumusega seotud trende, mis mõjutab projekti maksumust</li><li>• Võtab vastu strateegilisi otsuseid uute tehnoloogiate kasutusele võtmiseks kogu eelarve osakonna piires</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Valmistab ette ning edastab detailsed mahtude väljavõtted ehitusprojektide tarvis</li><li>• Valmistab ette eelprojekti eelarve lähtuvalt algandmetest ning ajaloost</li><li>• Hoiab silma peal kohalikel ning riiklikel turu trendidel, et materjali ning tööjõukulud oleksid ühitatud</li><li>• Hindab ning analüüsib allhankijate pakkumisi</li><li>• Raporteerib juhtivale eelarvestajale</li></ul>

# EHITUSMAHTUDE VÄLJAVÕTTED

- Konkurents on väga tihe
- Seega on oluline faktor eristumine
  - Täpsem mahtude väljavõte ning maksumuse eelarvestamine
- Oluline projektide juures, mis ületavad eelarvet
- Tihtipeale kasutatakse manuaalseid protsesse, mis on:
  - Ajakulukad;
  - Vearohked;
  - Võimalik, et seeläbi luuakse väga ebatäpseid eelarvestusi.



# EHITUSMAHTUDE VÄLJAVÕTTED

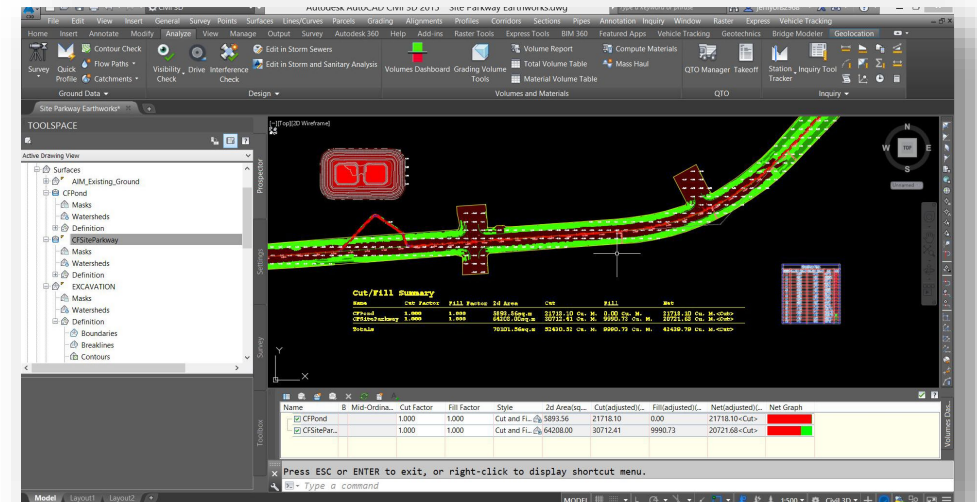
- Oluline on mahtude analüüsiga võimalikult varakult alustada, et aidata kaasa oluliste otsuste langetamist (omanik, tellija)
- Luua väärtust kohe kui vastav andmestik on olemas
- Detailsem ruumandmestiku ning materjalide mahtude väljavõtted, et luua täpsemaid mahtude analüüse
- Mudelil baseeruvad mahtude väljavõtted on tänapäev
- Võimalik eelarvestada ka mudelis mitteolevaid objekte (virtuaalne mahtude väljavõtt)
- Tüüpiliselt võimaldab projekteerimistarkvara teha esmast mahtude väljavõtet (nt spetsifikatsioonid, loendus, kuluartiklitel baseeruv mahtude väljavõtt)
- Kuluartiklite definitsioonid peavad olema muudetavad/defineeritavad kohaliku standardi järgi

# EHITUSMAHTUDE VÄLJAVÕTTED - VÄLJAKUTSED

- Mahud ei pruugi olla piisavad detailsusega, mida on vajalik ehitamiseks
  - Modelleerimise täpsus
  - Mahtude interpretatsioon – mis ühikus
- Ebapiisavad standardid, et mahtude väljavõtteid luua piisava detailsusega
  - Kuidas võtta?

# EHITUSMAHTUDE VÄLJAVÕTTED – AUTODESK CIVIL 3D

- Kasutades sõidutee ristlõikeid ning materjalide väljavõtteid, et esitada sõidutee materjalide tabelid pinnase täite/eemalduse mahud
- *Mass Haul* diagrammi loomine, et minimeerida maksumust
- *Volume Dashboard* töövahendi kasutamine, et võrrelda olemasolevat maapinda projekteeritava maapinnaga
- *Quantity Takeoff* töövahendi kasutamine ühes kuluartiklite tunnustega, et leida torusüsteemide mahud



Allikas: Ekraanipilt Autodesk tarkvaradest

The logo consists of the words "TAL" and "TECH" stacked vertically in a bold, white, sans-serif font. The background is a gradient of blue and purple, with a white rectangular area below the text.

**TAL  
TECH**

**TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn,

**taltech.ee**